生体の力学実験　はりの曲げたわみと応力の計測

実験場所：ユニバーサルデザイン実習室（Ⅲ）・FA センター　（1 号館東 1 階 106 室）
担当者　：渋江唯司（1 号館西 3 階 353 室）

1. まえがき

私たちの周りには、家を支えたり、人体を支えたりするための構造体がある。それらの構造体に力が加えられたとき、構造体は変形したり、こわれたりするおそれがある。構造体を正しくデザインするためには、力を加えたときに生じるたわみの大きさや、壊れにくさを表す指標である応力を正確に把握する必要がある。

ここでは、集中荷重を加えて以下の2種類の実験を行い、計測した結果を生体の力学で学んだ結果と比較し、はりの曲げ理論を実験的に確認する。

①軟鋼、銅、黄銅(しんちゅう)の3種類の金属はりに生じる曲げ応力を計測する

②軟鋼とアルミの2種類の金属はりに生じる曲げたわみを計測する

2. はり(梁)に曲げ荷重をかけたときの応力分布の測定

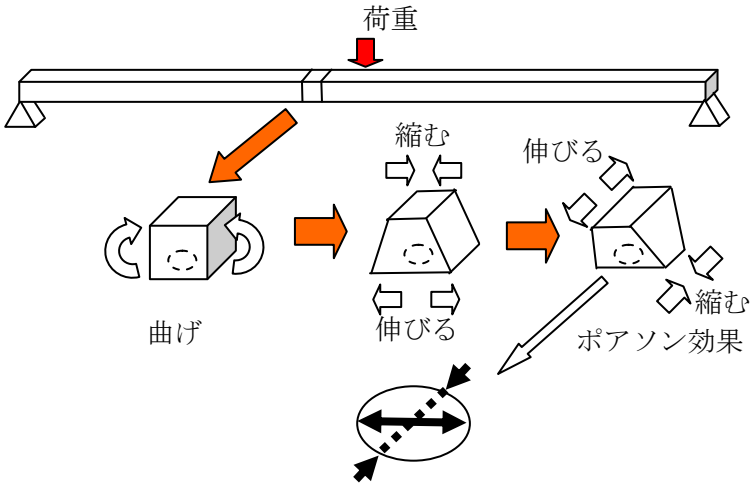
2.1　実験目的

本章では、実験によりはりに荷重が作用するときの曲げ応力について以下の点を確認する。

①ひずみゲージを用いてはりの曲げ応力を測定する方法はどのような方法か？

②両端支持されたはりに荷重をかけたときのはりの応力分布はどうなるか？

③理論計算で求められる応力分布と比較して、食い違いはどのくらいか？



はり下面の 2 軸ひずみゲージの伸縮

図 2-1　曲げを受けるはりの変形と、はりの下面に生じるひずみ

2. 2　解説

2.2.1　曲がりはりの変形とひずみ

はりが曲げを受けると、図 2-1 に示すように、はり全体にたわみ変形を生じる。はりの上面は、はりの長さ方向に縮み、はりの下面は、はりの長さ方向に伸びる。この伸縮に伴い、ポアソン効果によってはりの幅方向に長さ方向と逆の伸縮を生じる。実験に使用するはりには、ひずみゲージが貼り付けてあるので、これを用いてひずみの計測を行う。

このとき、はりに載せる荷重がはりの断面の中心に作用していないと、はりが図 2-2 に示すように、ねじれてしまい、正確な計測ができなくなることがあるので、十分に注意する必要がある。

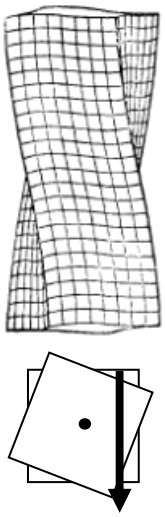


図 2-2　断面の中心を外れた荷重によるねじれ変形

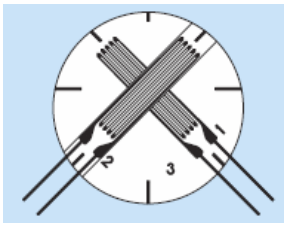


図 2-3　ロゼットゲージ

2.2.2　測定ひずみからの主応力算出方法

一般的に、物体表面の主応力を求めるためには、2-3 枚のゲージを組み合わせて測定する必要があり、この目的のために作られたゲージをロゼットゲージ(図 2-3)といい、その測定結果から主応力を求めることをロゼット解析という。

はりに単純な曲げ荷重をかけた場合には、主応力の方向ははりの長さ方向とそれに直交する方向となることが分かっている。このような場合には、直交する 2 枚のゲージを主応力の方向に合わせて貼れば 2 方向ゲージでも主ひずみ ε_1、ε_2 が測定できる。ヤング率を E、ポアソン比を ν とすると、主ひずみ ε_1、ε_2 と主応力 σ_1、σ_2 の間には(2-1)式が成り立つ。

$$\left.\begin{aligned}\varepsilon_1 &= \frac{\sigma_1}{E} - \nu\frac{\sigma_2}{E}\\ \varepsilon_2 &= \frac{\sigma_2}{E} - \nu\frac{\sigma_1}{E}\end{aligned}\right\} \qquad (2\text{-}1)$$

したがって、(2-2)式から主応力を求めることができる。

$$\sigma_1 = \frac{E}{1-\nu^2}\left(\varepsilon_1 + \nu\varepsilon_{\ 2}\right) \qquad (2\text{-}2)$$

$$\sigma_2 = \frac{E}{1-\nu^2}\left(\varepsilon_2 + \nu\varepsilon_{\ 1}\right)$$

2.2.3　両端支持はりに集中荷重がかかる場合の曲げモーメントと応力

図 2-4 のように両端支持はりに集中荷重がかかる場合の曲げモーメントは、(2-3)式で示されることがわかっている。(生体の力学の教科書 P77 参照)

$$\left.\begin{aligned} &0 \le x \le a \text{のとき} \\ &M_x = \frac{P(\ell - a)}{\ell} x \\ &a \le x \le \ell \text{のとき} \\ &M_x = Pa\left(1 - \frac{x}{\ell}\right) \end{aligned}\right\} \quad (2-3)$$

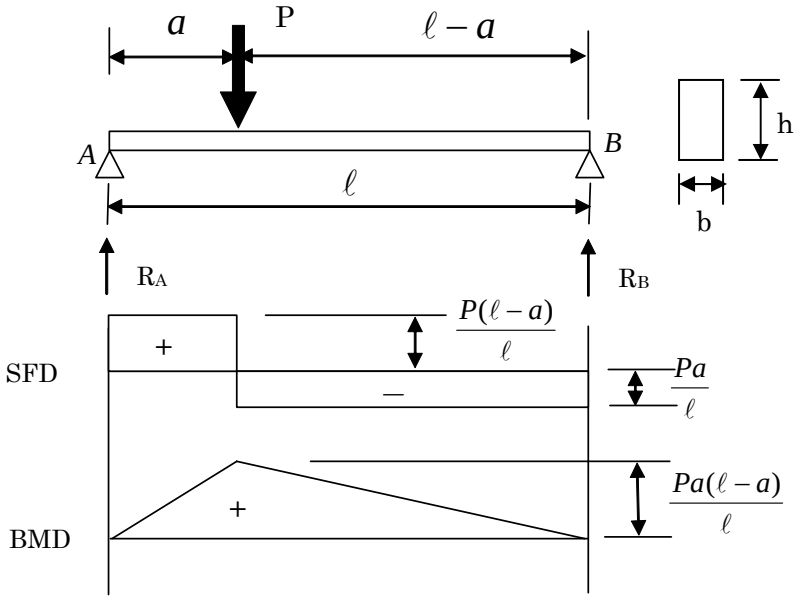


図 2-4　集中荷重を受ける両端支持はりのせん断力と曲げモーメントの分布

また、曲げモーメントの値と、その断面ではりに生じる最大の応力との関係は、長方形断面はり（幅b、高さh）の場合、(2-4)式で表されることがわかっている。

$$\left.\begin{aligned} &\sigma_x = \frac{M_x}{I} \cdot \frac{h}{2} = \frac{M_x}{Z} \\ &I = \frac{1}{12} bh^3 \quad Z = \frac{1}{6} bh^2 \end{aligned}\right\} \quad (2-4)$$

ここで、

I：断面 2次モーメント

Z：断面係数

2．3　　実験装置

使用する実験装置の名称を1）から8）に、図を図 2-5 に示す。

1）試験片　3 種（鋼、銅、黄銅）　　2）両端支持台　　3）コ型エッジ

4）錘　1 個 200g　7個　　5）錘受け　　6）ひずみゲージ

7）スイッチボックス　　8）ひずみ測定器

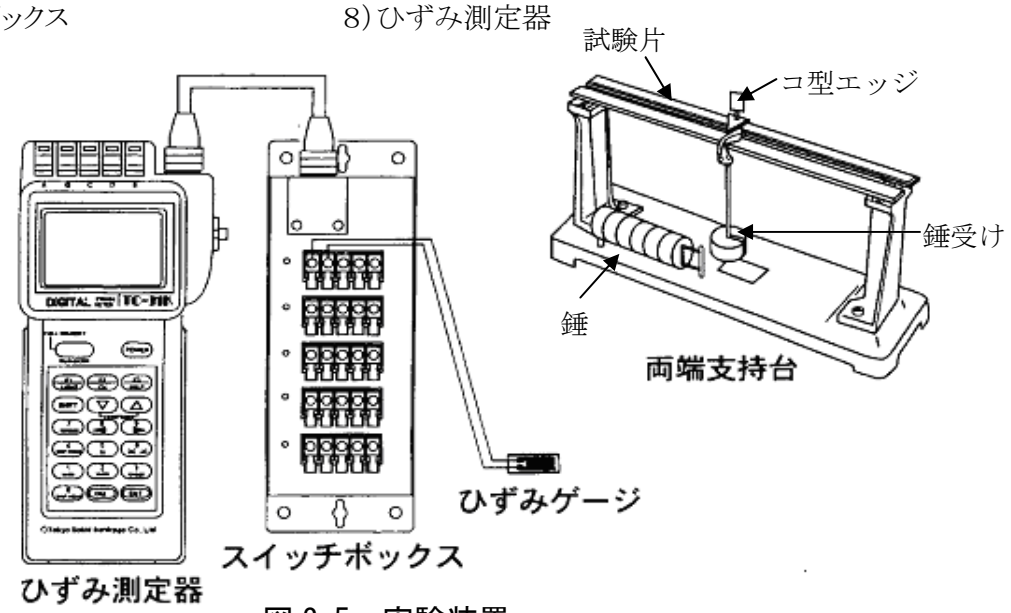


図 2-5　実験装置

2.4 実験方法

2．4．1 全般

実験で使用する錘の質量は2種類、錘を載せる位置は 1 か所である。錘の質量と載せる位置は実験を行う学生ごとに変えている。詳しい数値は、実験の際に知らせる。

実験で計測したデータと、計測したデータから計算を行って求めるデータは、すべて記録用紙に記載できるようになっている。報告書を提出する際には、記録用紙もあわせて提出すること。データを紛失した場合には、再度実験を行ってデータを計測することになるので、記録用紙は紛失しないように注意すること。

以下の実験では、両端支持台、ロゼットゲージを貼付した鋼、銅、黄銅の試験片、鋼尺（ものさし）、ノギス、スイッチボックス、ひずみ測定器、ドライバ（ねじ回し）を使用する。計測を行う際には、２－３名でチームを組んで、実験担当者が計測を行い、それ以外の人が記録をするなど工夫をして、実験が円滑に行われるようにすること。実験の準備として以下の作業を行う。

1） 記録シートに学籍番号、氏名を記入する。

2） 各自の計測条件（錘の質量、位置）を記入する。

3） 自分で使用する試験片の一端（○印）を基点としてゲージ貼付位置の罫書き線までの距離と、両端支持台のエッジ間距離を鋼尺で計測し、試験片寸法の欄に記入する。同じ試験片を使用する場合には、計測は 1 回行えば良い。

4） 自分で使用する試験片の断面の幅（広いほう）と高さ（狭いほう）をノギスで計測し、試験片寸法の欄に記入する。同じ試験片を使用する場合には、計測は 1 回行えば良い。

2．4．2 ひずみの測定

以下の作業で、集中荷重を加えた両端支持はりのひずみを計測する。

1）必要な錘を準備する（今回用いる錘は 1 個 200g）。

2）ひずみゲージのリード線を 1 本づつスイッチボックスの a と b に結線する。
まず赤（長さ方向）を 5ch（チャンネル）結線し、8）までの計測を行い、次に白（幅方向）を結線して再計測する。

3）スイッチボックスとひずみ測定器がケーブルで接続されていることを確認する（図 2-5）。

4）ひずみ測定器(TC-31K)操作手順を参考にしてひずみ測定器の設定を行う。 係数を求めるために必要なゲージ率は、個々のひずみゲージのデータ（ゲージ率は 1.2）を使用する。

5）ひずみゲージ、スイッチボックスとの接続を完了した後で、試験片を両端支持台の上に載せ、所定の位置にコ形エッジと錘受けを載せたあとで、その状態のひずみを原点とする（ゼロとする）ためにイニシャルインを行う。

6）スキャニング測定を行い、ひずみがほぼゼロであることを確認する。

7）コ形エッジに所定の錘を取り付けた後、試験片に静かに載せる。

8）スキャニング測定を行い、ひずみ測定器の出力を読み、記録シートに記録する。

2.5 実験結果の整理と考察

2.5.1 全体

実験終了後、記録用紙の「計測して記入する」部分が全て記載されていることを確認する。「計算して記入する」部分については、断面係数は(2-4)式、主応力は(2-2)式を使って、曲げモーメントは

(2-4)式から曲げモーメントを応力で表す式を導いて、それぞれの式を用いて計算した結果を記録用紙に記入する。6. 材料力学による応力の計算表は、(2-3)式をもとに支点からの距離xに対する曲げモーメントを計算し、(2-4)式を使って曲げ応力を計算し、それぞれの数値を記録用紙に記入する。レポートのグラフは、Excel を使用する。

2.5.2 集中荷重をうける両端支持はりに生じる応力分布の確認

2種類の質量の錘を荷重として加えたときに、ひずみ計測から求められる応力の分布を、記録用紙5. ひずみの測定値の中の、罫書き線の距離xに対する錘1、錘2の最大主応力 σ_1 の値を図 2-6 に示すように表し、錘の質量を変化させたときに、応力の大きさは変化するが、応力分布の形状(放物形、台形、三角形など)が変化するかどうかを確認する。

また、ひずみ計測から求められる曲げモーメントの分布を、記録用紙5. ひずみの測定値の中の、罫書き線の距離xに対する錘1、錘2の曲げモーメント M_1 の値を図 2-7 に示すように表し、錘の質量を変化させたときに、曲げモーメントの大きさは変化するが、曲げモーメント分布の形状(放物形、台形、三角形など)が変化するかどうかを確認する。

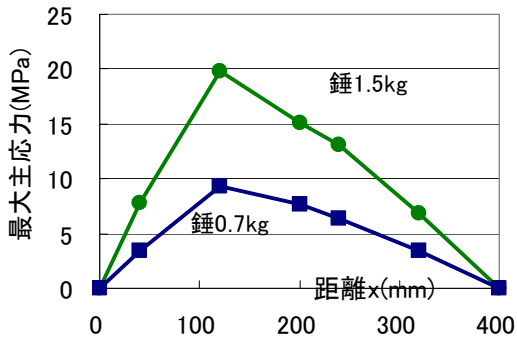


図 2-6　最大主応力の計測値の分布形状

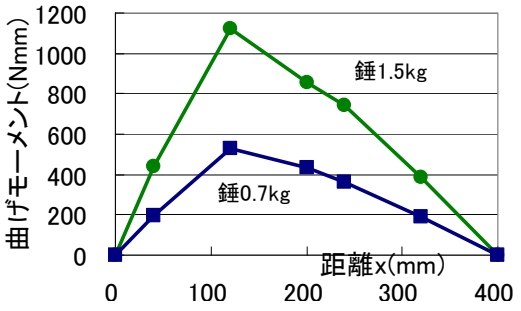


図 2-7　曲げモーメントの計測値の分布形状

2.5.3 荷重の増加と最大応力の増加の確認

2種類の質量の錘を荷重として加えたときに、ひずみ計測から求められる応力の最大値を、記録用紙5. ひずみの測定値の中の、罫書き線の距離xに対する錘1、錘2の最大主応力 σ_1 の最大値を図 2-8 に示すように表し、最大応力値が錘の質量によってどのように変化するかを確認する。

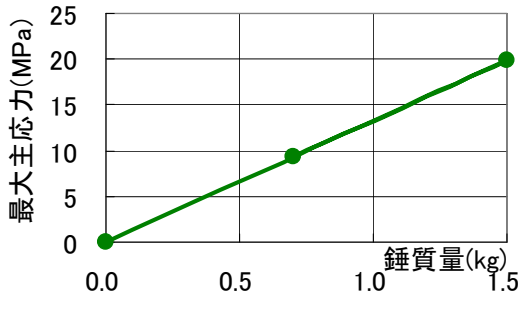


図 2-8　錘質量と最大応力の関係

2.5.4 理論計算による応力の分布と実験値の比較

錘 1 を荷重として加えたときに、ひずみ計測から求められる応力の分布と、理論計算による応力値を、記録用紙5. ひずみの測定値の中の、罫書き線の距離xに対する錘 1 の最大主応力 σ_1 の値と、記録用紙6. 理論計算による応力の表の中の、罫書き線の距離xに対する錘 1 の最大主応力 σ_1 の値を図 2-9 に示すように表し、計測された応力分布の形状と、理論計算から求められる応力分布の形状がどのように異なるのかを確認する。

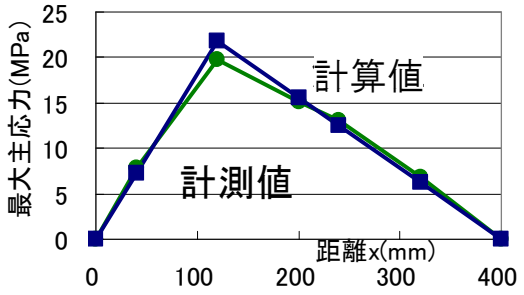


図 2-9　最大主応力の計測値と計算値の分布形状

3. 荷重の大きさ、はりの断面の向きの違いがたわみに及ぼす影響の評価実験

3．1　実験目的

2章では、実験によりはりに荷重が作用するときに、はりの表面にひずみが生じることを確認することができた。

3章では、実験によりはりに荷重が作用するときのたわみについて以下の点を確認する。

① たわみの分布形状がひずみの分布形状と同じか、異なるのか？

② 荷重を増やしたときにたわみはどのように増えるのか？

③ 同じはりの向きを変えたとき、たわみはどのくらい異なるのか？

3．2　解説

3．2．1　　はりの曲げ応力を求める式

図 3-1 で示されるように、曲げモーメントM が作用するはりの断面で、曲率半径を ρ とすると、中立軸からの距離 y_i の位置で発生するひずみ ε_i は、(3-1)式で表される。(3-1)式から、応力 σ_i はひずみ ε_i と縦弾性係数 E の積で(3-2)式で表される

曲げモーメントは、はりの断面に働く力（応力x面積）と中立軸からの距離の積であらわされる。はりの断面内での応力（ひずみ）の分布は、図 3-2 で示すように、中立軸でゼロとなる直線で表される。中立軸からの距離 y_i での面積 a_i とその位置での応力 σ_i で、断面に作用する曲げモーメント M を表すと(3-3)式となる。断面 2 次モーメントI を(3-4)式で定義すると、(3-3)式から中立軸からの距離 y の位置で生じる曲げ応力 σ は、断面に作用する曲げモーメント M と断面 2 次モーメントI で(3-5)式で表される。

$$\varepsilon_i = \frac{y_i}{\rho} \cdots (3-1)$$

$$\sigma_i = \frac{E}{\rho} y_i \cdots (3-2)$$

$$M = \sum_{i=1}^{n} \sigma_i a_i y_i = \frac{E}{\rho} \sum_{i=1}^{n} a_i {y_i}^2 = \frac{\sigma}{y} \sum_{i=1}^{n} a_i {y_i}^2 \cdots (3-3)$$

$$I = \sum_{i=1}^{n} a_i {y_i}^2 \cdots (3-4)$$

幅 b、高さ h の長方形断面の　IはI

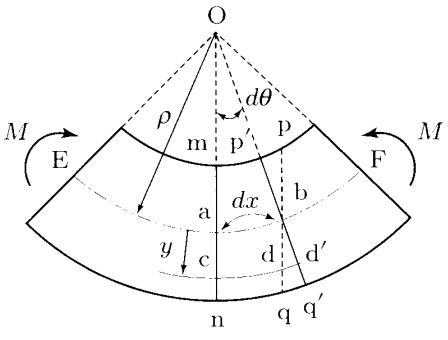


図 3-1　はりの曲げ変形

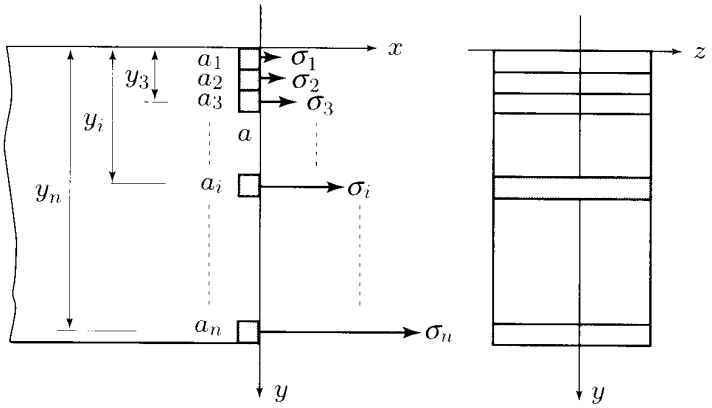


図 3-2　はりの曲げ応力、面積と中立軸からの距

3．2．2 はりのたわみを求める材料力学の式

曲げモーメントM が作用するはりの曲率半径 ρ は、はりの材料の縦弾性係数 E とはりの断面 2 次モーメント I で、(3-3)式から(3-6)式のように表される。図 3-3 は、はりのたわみ曲線を示し、はりの微小部分 dx について考える。座標(x,y)でのたわみの接線の傾きを θ 、dx の曲率半径を ρ 、弧の長さを ds、弧の中心角を d θ とすると、ds= ρ d θ から、(3-7)式が成り立つ。弾性変形なので、変形が微小であるとすると、(3-8)式が成り立つので、(3-7)式に(3-8)式を代入して、(3-9)式が成り立つ。(3-9)式に(3-6)式を代入すると(3-10)式となる。これは、はりのたわみと曲げモーメントの関係を表す式である。

$$\frac{1}{\rho}=\frac{M}{EI}\cdots(3-6)$$

$$\frac{d\theta}{ds}=\frac{1}{\rho}\cdots(3-7)$$

$$ds\cong dx,\theta\cong\frac{dy}{dx}\cdots(3-8)$$

$$\frac{d\theta}{ds}\cong\frac{d}{dx}\frac{dy}{dx}=\frac{d^2y}{dx^2}=\frac{1}{\rho}\cdots(3-9)$$

$$\frac{d^2y}{dx^2}=-\frac{M}{EI}\cdots(3-10)$$

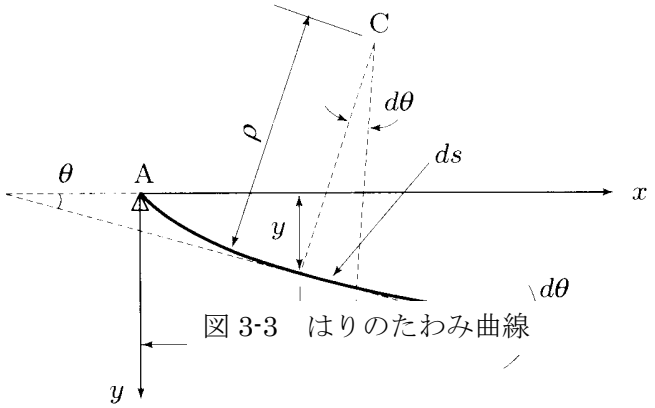


図 3-3 はりのたわみ曲線

3．2．3 集中荷重を受ける両端支持はりのたわみを求める材料力学の式

図 3-4 に示す、集中荷重を受ける両端支持はりの曲げモーメント分布は、(3-11)式で

表される。たわみ y は、(3-10)式に(3-11)式の曲げモーメントを代入し、(3-12)、(3-13)式に示すように、x について2回積分することにより求めることができる。その際に、得られる積分定数は、境界条件を考慮することにより決定される。

$$M=\frac{P(\ell-a)}{\ell}x\cdots(0\le x\le a)\cdots(3-11a)$$

$$M=\frac{Pa}{\ell}(\ell-x)\cdots(a\le x\le\ell)\cdots(3-11b)$$

$$\frac{dy}{dx}=-\frac{P(\ell-a)}{EI\ell}\left(\frac{x^2}{2}\right)+C_1\cdots(0\le x\le a)\cdots(3-12a)$$

$$\frac{dy}{dx}=-\frac{Pa}{EI\ell}\left(\ell x-\frac{x^2}{2}\right)+C_2\cdots(a\le x\le\ell)\cdots(3-12b)$$

$$y=-\frac{P(\ell-a)}{EI\ell}\left(\frac{x^3}{6}\right)+C_1x+C_3\cdots(0\le x\le a)\cdots(3-13a)$$

$$y=-\frac{Pa}{EI\ell}\left(\frac{\ell x^2}{2}-\frac{x^3}{6}\right)+C_2x+C_4\cdots(a\le x\le\ell)\cdots(3-13b)$$

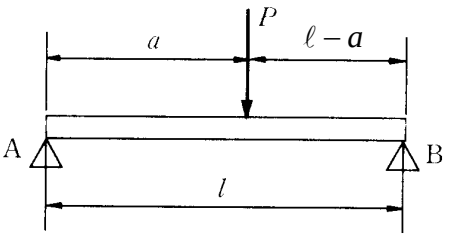


図 3-4 はりの曲げ

ここで用いる境界条件は、両端でたわみがゼロを表す(3-14)式と、荷重点の左右でたわみとたわみの傾斜が等しいことを表す(3-15)式である。これらの式を(3-13)式に代入して、(3-16)式が得られる。(3-16)式から、集中荷重を受ける両端支持はりのたわみは、荷重の大きさ P に比例し、はりの材料の

縦弾性係数に反比例し、はりの断面２次モーメントIに反比例することがわかる。

$x=0$で$y=0\cdots(0\le x\le a)\cdots(3-14a)$

$x=\ell$で$y=0\cdots(a\le x\le \ell)\cdots(3-14b)$

$x=a$で$y\cdots(0\le x\le a)=y\cdots(a\le x\le \ell)\cdots(3-15a)$

$$x=a\text{で}\frac{dy}{dx}\cdots(0\le x\le a)=\frac{dy}{dx}\cdots(a\le x\le \ell)\cdots(3-15b)$$

$$y=-\frac{P(\ell-a)x}{6EI\ell}\left\{x^2+(\ell-a)^2-\ell^2\right\}\cdots(0\le x\le a)\cdots(3-16a)$$

$$y=-\frac{P(\ell-a)}{6EI\ell}\left\{x^3+\left[(\ell-a)^2-\ell^2\right]x-\frac{\ell}{(\ell-a)}(x-a)^3\right\}\cdots(a\le x\le \ell)\cdots(3-16b)$$

３．３　実験方法

３．３．１　全般

実験で使用する錘の質量は2種類、錘を載せる位置は 1 箇所である。錘の質量と載せる位置は実験を行う学生ごとに変えている。

実験で計測したデータと、計測したデータから計算を行って求めるデータは、すべて記録用紙に記載できるようになっている。報告書を提出する際には、記録用紙もあわせて提出すること。

以下の実験では、両端支持台、アルミの細長い試験片、鋼尺（ものさし）、ノギス、マグネットベース、ダイヤルゲージを使用する。計測を行う際には、２－３名でチームを組んで、実験担当者が計測を行い、それ以外の人が記録をするなど工夫をして、実験が円滑に行われるようにすること。実験の準備として以下の作業を行う。

１）　記録シートに学籍番号、氏名を記入する。

２）　各自の計測条件（錘の質量、位置）を記入する。

３）　アルミの試験片の一端（○印）を基点として罫書き線までの距離を鋼尺で計測し、試験片寸法の欄に記入する。同じ試験片を使用するので、計測はチームで 1 回行えば良いが、その値をチーム全員の記録用紙に記載すること。

４）　アルミの試験片の断面の幅（広いほう）と厚さ（狭いほう）をノギスで計測し、試験片寸法の欄に記入する。同じ試験片を使用するので、計測はチームで 1 回行えば良いが、その値をチーム全員の記録用紙に記載すること。

３．３．２　はりのたわみの計測Ｉ（幅広）

アルミ試験片について、たわみの形状をダイヤルゲージで計測する。

１）　記録用紙の4.たわみ(mm)の計測表で、幅広の欄に、錘の質量と罫書き線の距離を、それぞれ2.計測条件、3. 試験片寸法表から転記する。

２）　試験片の基点が支持点に一致するように、幅の広い辺が支持される向きに両端支持台に載せる。

３）　2. 計測条件で指定された位置におもり受けを載せる。

４）　マグネットベースに取り付けたダイヤルゲージの読みが、各罫書き線の位置で、0mm 以上、1mm 未満となるようにダイヤルゲージの高さを調節し、固定する。一度調節した後は、マグネットベースを移動させ、ダイヤルゲージの計測軸を調節するだけで、ダイヤルゲージを

固定している部分に触らないようにする。

5） 3)の状態で、錘を載せた位置を除く、試験片の全罫書き線の位置の変位を計測し、錘なしの欄に記入する。

6） おもり受けに錘1を載せ、錘を載せた位置を除く、試験片の全罫書き線の位置の変位を計測し、錘1の欄に記入する。

7） おもり受けに錘2を載せ、錘を載せた位置を除く、試験片の全罫書き線の位置の変位を計測し、錘2の欄に記入する。

8） 6)の計測結果から5)の計測結果を差引いた値が錘1によるたわみとなる。

9） 7)の計測結果から5)の計測結果を差引いた値が錘2によるたわみとなる。

3．3．3 はりのたわみの計測Ⅱ（縦長）

試験片の断面の向きを変えて、3．3．2と同様に、錘１を載せてたわみの形状を計測する。

3．4 実験結果の整理

3．4．1 全体

実験終了後、記録用紙の1．から4．までの欄がすべて記載されていることを確認する。5．理論計算によるたわみの計算表は、x座標にそれぞれの試験片で計測した罫書き線の距離を3．試験片寸法から転記し、3．2．3節で説明したたわみの計算式を使って、それぞれの罫書き線の位置でのたわみの値を計算し、該当する欄に記載する。

6．錘の質量と最大たわみでは、錘の質量を、2．計測条件から転記し、それぞれの試験片で計測された最大たわみの値を該当する欄に記載する。

3.4.2 **たわみの形状の確認、応力の分布形状とたわみの形状の比較**

錘１を載せたときの幅広、縦長のたわみ形状を確認する。すでに応力の分布形状については、第2章で調べているので、この結果と比較して、たわみの分布形状が、応力の分布形状と同じなのか、異なるのかについて確認する。

たわみの形状は、記録用紙の4．たわみの計測表に記載されているので、上記3組のデータを元に、図 3-5 に示すグラフを作成する。

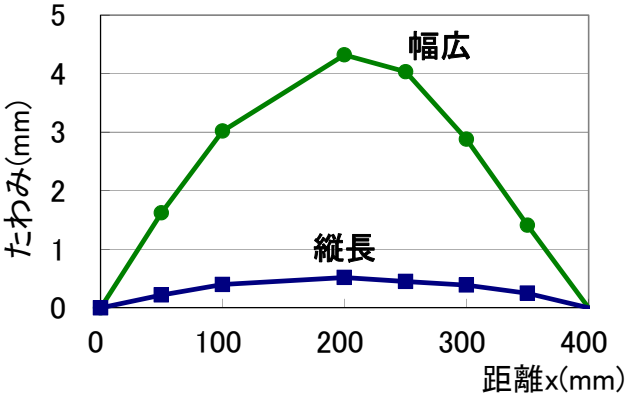


図 3-5 たわみ形状の確認のグラフ

3.4.3 荷重の増加と最大たわみの増加の確認

幅広の試験片に錘1、錘2を載せたときのたわみの分布形状の違いを確認する。このために、記録用紙の4．たわみの計測表に記載されている上記2組のデータを元に、図 3-6 に示すグラフを作成する。

これらの錘の質量x重力の加速度=荷重となるので、錘の質量と最大たわみとの関係を記録用紙の6．錘の質量と最大たわみに記載されているデータを元に、図 3-7 に示すグラフを作成し、錘の質量と最大たわみの関係を確認する。

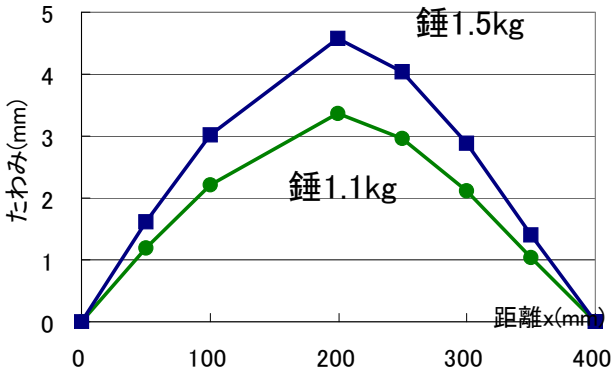


図 3-6　質量とたわみ形状の確

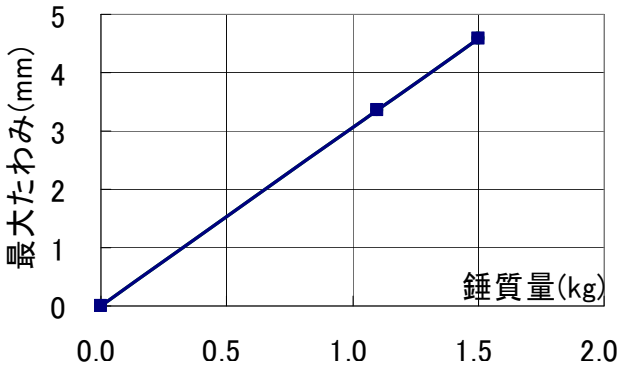


図 3-7　錘の質量と最大たわみの関

3.4.4 同じはりの断面の向きによるたわみへの影響

3．4．2で作図した図 3-5 に相当するグラフから、同じ試験片について、断面の向きを変えるとたわみ量が大きく異なることが分かった。

3．2．3節で説明するたわみの計算式によれば、たわみの大きさ y は断面寸法から求められる断面2次モーメント I に反比例することが分かる。そこで、記録用紙の6．錘の質量と最大たわみに記載されているデータを元に、錘1を載せたときの幅広と縦長の断面2次モーメントと最大たわみの関係を図 3-8 に示すように表し、最大たわみが、断面2次モーメントIによって、どのように変化するかを確認する。

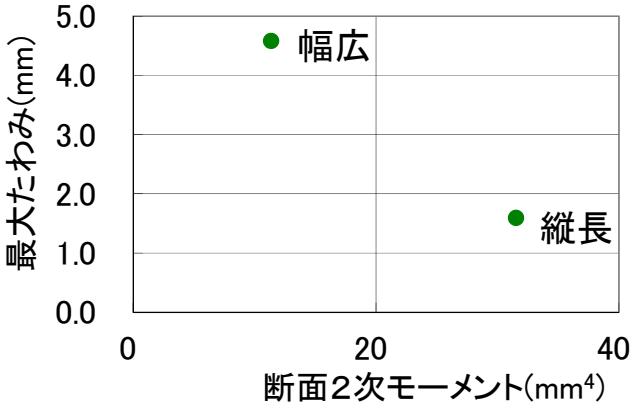


図 3-8　はりの断面２次モーメントと最大たわみの関係

4. 実験レポート

実験終了後 1 週間以内に、レポートで必要となるグラフ 8 枚と計測表を持参しチェックを受けること。

チェックを受けたのち、実験終了後 2 週間以内に、作成したレポートを提出しなさい。

以下の目次構成で、図、表を除き、**手書きで書くこと。**図、表は印刷してから切り取り、貼り付けること。ただし、レポートに目次そのものを付け加える必要はありません。

1. 実験の目的
2. 実験の方法
2. 1　はりに曲げ荷重をかけたときの応力分布の測定方法
1)試験片の材料と形状
2)試験片の寸法、断面形状の測定方法、曲げ荷重負荷方法、
3)ひずみ測定値から主応力および曲げモーメントを計算する方法
4)材料力学の公式より曲げモーメント、応力を求める方法
2. 2　荷重の大きさ、はりの材料、はりの断面の違いがたわみに及ぼす影響の評価実験の方法
1)試験片の材料と形状
2)試験片の断面形状の測定方法、たわみの測定方法
3)理論計算式よりたわみを求める方法
3. 実験の結果
3. 1　はりに曲げ荷重をかけたときの応力分布の測定結果
1)集中荷重をうける両端支持はりに生じる応力分布の確認
2)荷重の増加と最大応力の増加の確認
3)理論計算による応力の分布と実験値の比較
3. 2　荷重の大きさ、はりの断面の向きの違いがたわみに及ぼす影響の評価実験
1)たわみの形状の確認、応力の分布形状とたわみの形状の比較
2)荷重の増加と最大たわみの増加の確認
3)同じはりの断面の方向によるたわみへの影響
4. 考察・まとめ(結果の要約と感想)

付録　実験計測シート　裏表 1 枚

5．参考文献

1） 日本機械学会編「材料力学」
2） 小山、鈴木「はじめての材料力学」森北出版
3） 寺沢、松浦「材料力学（上)」海文堂
4） 平修二「現代 材料力学」オーム社
5） デジタルひずみ測定器 TC-31K 取扱説明書、東京測器
6） 共和電業ひずみゲージ　http://www.kyowa-ei.co.jp/japanese/product/2002-13/13-06.pdf
東京測器ひずみ　http://www.tokyosokki.co.jp/product/strain_gau

東京測器研究所製　デジタルひずみ測定器（TC-31K）操作手順

１．電源を入れる（POWER キーを押す。：電源を切る場合にも同じ。）

２．バッテリの確認（POWER キーの左にあるランプの点滅がないことを確認する。）

３．マルチチャンネルモードに設定する（F2/CH キーを押し、SHIFT キーを押す。5 チャンネルの結果が表示されることを確認する。）

４．抵抗 120Ω のひずみゲージを使用した計測であることを指定する。(センサキー:7/SENSOR を押し、S=の部分がハイライトする。カーソルキー△、▽で表示を 11:1G120 となるように設定する。ENT キーを押して確定する。）

５．ゲージ率が 2.12 であることを設定する。(ディスプレイフォームキー：4/DISP FORM を押し、画面下に選択機能を表示させる。COEF（係数）を設定するために F1/LIGHT キーを押す。C=の部分がハイライトする。以下の式で求められる係数をテンキーで入力し、ENT キーを押して確定する。たとえば、0.833 を係数として入力する場合には、テンキーで.833 と入力する。）

$$\text{係数} = \frac{2.0}{\text{ゲージ率}}$$

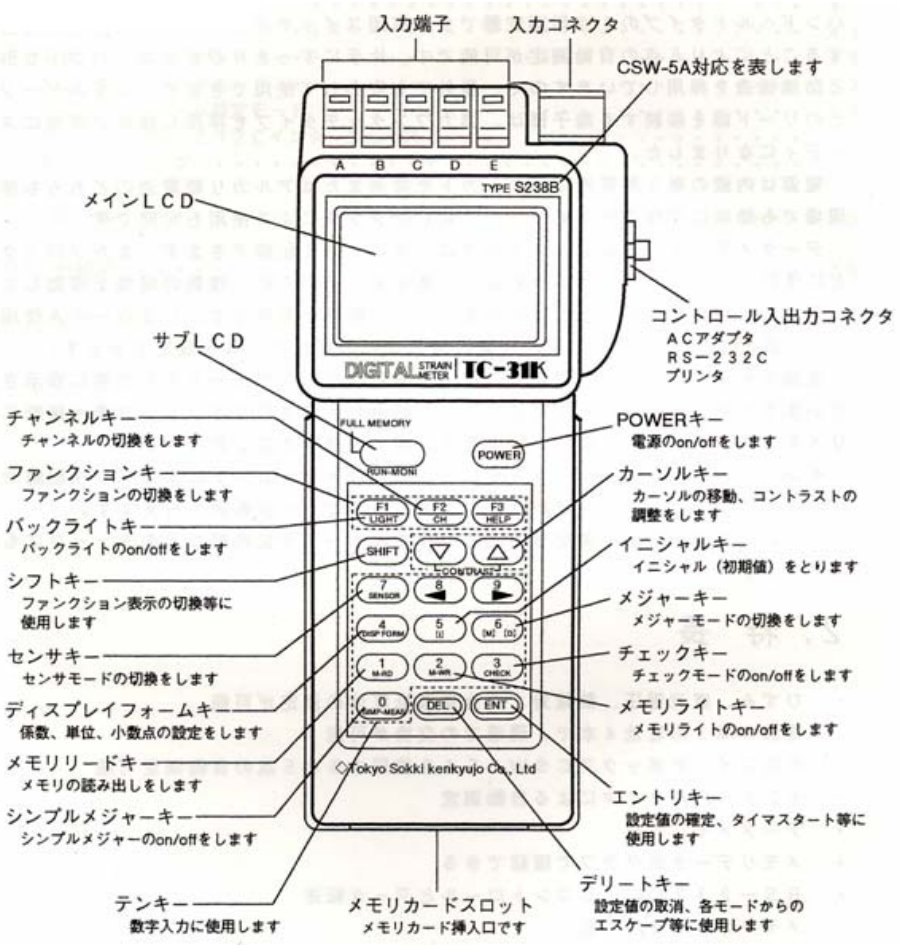
６．現在のひずみ値を基準とするために、イニシャルインを行い、現在のひずみ値を 0 とする。(イニシャルキー：5/[I]を押し、ENT キーを押す。ひずみ値の表示がほぼ 0 となることを確認する。）

７．５チャンネルの計測を行う。(ENT キーを押す。）

８．ひずみ値を計測する。現在のひずみ値が表示されるので、必要なタイミングでひずみ値を読み、記録する。

ひずみ値は、引張が＋、圧縮がーで表示される。表示の末尾にμの記号が表示されるが、これは 10^{-6} を示す記号である。1000μのひずみ値は、0.001 のひずみをあらわす。

注意：操作を取り消すときには DEL キーを使う。操作を確定するときには ENT キーを使う。



生体の力学実験　ひずみの計測

計測して記入する	学籍番号	12-1-833-0010
計算して記入する	氏名	生体　一郎
同じ値を記入する		

１．材料物性表

材料	縦弾性係数	ポアソン比
記号	E	ν
鋼	206GPa	0.30
銅	126GPa	0.33
黄銅	98GPa	0.33

２．ひずみゲージ

製品	FCA-5-11
材料	Cu-Ni系
ゲージ長	5mm
ゲージ率	2.12
種類	2方向ロゼットゲージ

３．荷重負荷条件（個別設定）

	質量(kg)	支持点からの距離(mm)
錘１	1.5	120
錘２	0.7	

４a．試験片寸法

断面幅	断面高さ	断面係数
mm	mm	mm^3
17.21	4.45	56.8

４b．ひずみ測定位置（支持点からの距離）

	罫書き線の距離 x (mm)						
点	0	1	2	3	4	5	6
材料	0mm	40mm	120mm	200mm	240mm	320mm	エッジ間距離
黄銅	0	40.1	120.1	200.2	239.8	320.1	400.1

５．ひずみの測定値

錘１	罫書き線の距離 x (mm)						
	0	1	2	3	4	5	6
	0mm	40mm	120mm	200mm	240mm	320mm	エッジ間距離
	0	**40.1**	**120.1**	**200.2**	**239.8**	**320.1**	**400.1**
$\varepsilon_1(\mu)$	0.0	75	200	155	130	65	0.0
$\varepsilon_2(\mu)$	0.0	-13	-60	-55	-33	-9	0.0
σ_1(MPa)	0.0	7.78	19.82	15.05	13.10	6.82	0.0
σ_2(MPa)	0.0	1.29	0.66	-0.42	1.09	1.37	0.0
M_1(Nmm)	0	442	1126	855	744	387	0
錘２							
$\varepsilon_1(\mu)$	0.0	33	94	78	63	32	0.0
$\varepsilon_2(\mu)$	0.0	-6	-29	-25	-15	-4	0.0
σ_1(MPa)	0.0	3.41	9.29	7.67	6.38	3.37	0.0
σ_2(MPa)	0.0	0.54	0.22	0.08	0.64	0.72	0.0
M_1(Nmm)	0	194	527	436	363	192	0

６．材料力学による応力(MPa)の計算表

l(mm)	**400.1**	a(mm)	**120**	l-a(mm)	280.1

錘１	罫書き線の距離 x (mm)						
	0	1	2	3	4	5	6
	0mm	40mm	120mm	200mm	240mm	320mm	エッジ間距離
x(mm)	**0**	**40.1**	**120.1**	**200.2**	**239.8**	**320.1**	**400.1**
M(Nmm)	0.0	413	1236	881	707	353	0.0
σ_1(MPa)	0.0	7.27	21.76	15.52	12.44	6.21	0.0

７．錘の質量と最大応力(MPa)

	錘なし	錘１	錘２
質量kg	0	**1.5**	**0.7**
黄銅	0	**19.82**	**9.29**

生体の力学実験　はりのたわみの計測

学籍番号	12-1-833-0010	氏名	生体　一郎

１．材料物性表

	縦弾性係数(GPa)	ポアソン比
鋼	200	0.3
アルミ	70	0.25

２．計測条件（個別指定）

	質量(kg)	位置(mm)
錘１	1.5	150
錘２	1.1	

計測して記入する
計算して記入する
同じ値を記入する

３．試験片寸法(mm)表

	罫書き線の距離ｘ(mm)								エッジ間距離	断面幅	断面高さ
	0mm	50mm	100mm	150mm	200mm	250mm	300mm	350mm		mm	mm
鋼	0.0	50.1	100.1	150.2	200.1	250.1	300.2	350.1	400.1	25.12	2.98
アルミ	0.0	49.9	100.0	150.0	199.9	250.1	299.9	349.9	**400.1**	25.02	3.01

４．たわみ(mm)の計測表

アルミ幅広		罫書き線の距離ｘ(mm)								エッジ間距離
	ｘ座標	0mm	50mm	100mm	150mm	200mm	250mm	300mm	350mm	
	錘質量kg	**0.0**	**49.9**	**100.0**	**150.0**	**199.9**	**250.1**	**299.9**	**349.9**	**400.1**
錘なし	0.0	0.00	1.23	1.24		1.27	1.26	1.24	1.23	0.00
錘１	**1.5**	0.00	2.90	4.26		5.87	5.31	4.16	2.59	0.00
錘２	**1.1**	0.00	2.38	3.46		4.58	4.24	3.29	2.26	0.00
たわみ(差)										
錘１	**1.5**	0.00	1.67	3.02		4.60	4.05	2.92	1.36	0.00
錘２	**1.1**	0.00	1.15	2.22		3.31	2.98	2.05	1.03	0.00

アルミ縦長		罫書き線の距離ｘ(mm)								エッジ間距離
	ｘ座標	0mm	50mm	100mm	150mm	200mm	250mm	300mm	350mm	
	錘質量kg	**0.0**	**49.9**	**100.0**	**150.0**	**199.9**	**250.1**	**299.9**	**349.9**	**400.1**
錘なし	**0.0**	0.00	1.33	1.33		1.34	1.33	1.32	1.33	0.00
錘１	**1.5**	0.00	1.38	1.42		1.46	1.44	1.40	1.38	0.00
たわみ(差)										
錘１	**1.5**	0.00	0.05	0.09		0.12	0.11	0.08	0.05	0.00

鋼幅広		罫書き線の距離ｘ(mm)								エッジ間距離
	ｘ座標	0mm	50mm	100mm	150mm	200mm	250mm	300mm	350mm	
	錘質量kg	**0.0**	**50.1**	**100.1**	**150.2**	**200.1**	**250.1**	**300.2**	**350.1**	**400.1**
錘なし	0.0	0.00	1.29	1.30		1.32	1.30	1.29	1.30	0.00
錘１	**1.5**	0.00	1.81	2.43		2.87	2.65	2.31	1.75	0.00
たわみ(差)										
錘１	**1.5**	0.00	0.52	1.13		1.55	1.35	1.02	0.45	0.00

５．材料力学によるたわみ(mm)の計算表

アルミ幅広		罫書き線の距離ｘ(mm)								
	錘質量kg	0mm	50mm	100mm	150mm	200mm	250mm	300mm	350mm	400mm
	ｘ座標	**0.0**	**49.9**	**100.0**	**150.0**	**199.9**	**250.1**	**299.9**	**349.9**	**400.1**
錘１	**1.5**	0.00	1.83	3.37	4.33	4.51	3.99	2.95	1.57	0.00
鋼幅広		罫書き線の距離ｘ(mm)								
	錘質量kg	0mm	50mm	100mm	150mm	200mm	250mm	300mm	350mm	400mm
	ｘ座標	**0.0**	**50.1**	**100.1**	**150.2**	**200.1**	**250.1**	**300.2**	**350.1**	**400.1**
錘１	**1.5**	0.00	0.66	1.21	1.56	1.62	1.43	1.06	0.56	0.00

６．錘の質量と最大たわみ(mm)

	錘なし	錘１	錘２
質量kg	0	**1.5**	**1.1**
アルミ幅広	0	**4.60**	**3.31**
アルミ縦長	0	**0.12**	
鋼幅広	0	**1.55**	